

Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ им. А.П. ВИНОГРАДОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.4
№ госрегистрации 01201351651

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГХ СО РАН
чл. корр. РАН



В.С.Шацкий

20 декабря 2016 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ПРОЦЕССЫ МАНТИЙНО-КОРОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
В ФОРМИРОВАНИИ КИСЛЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ И ВЫСТУПОВ ФУНДАМЕНТА
СИБИРСКОГО КРАТОНА
(заключительный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО 0350-2014-0006

Приоритетное направление VIII.71. Закономерности формирования минерального, химического
и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы.
Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль
организмов.

Программа ФНИ СО РАН VIII.71.1. Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-
геохимические индикаторы рециклирования элементов.

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН
№ 7 от « 21 » декабря 2016 г.

Руководитель проекта,
доктор геол.-мин. Наук

В.С. Антипин 20.12.16
(подпись, дата)

В.С.Антипин

Иркутск, 2016

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

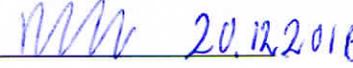
Научный руководитель темы, доктор
геолого-минералогических наук


подпись, дата

В.С. Антипин

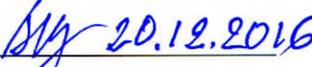
Ответственные исполнители темы:

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

В.И. Левицкий
(раздел 1.1)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

В.А. Макрыгина
(раздел 1.2)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

В.С. Антипин,
(раздел 2)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

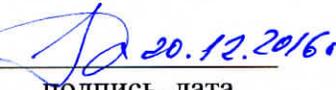
И.С. Перетяжко
(раздел 3.1)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

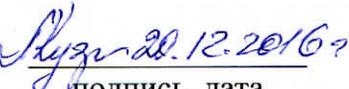
С.В. Ефремов
(раздел 3.2)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата

А.Б. Перепелов
(раздел 3.3)

кандидат геолого-минералогических наук


подпись, дата

Л.Г. Кузнецова
(раздел 4)

Реферат

Отчет включает 31 стр., 4 илл., 4 лит. ист.

ГЕОХИМИЯ, МАНТИЯ, ЗЕМНАЯ КОРА, МАГМАТИЗМ, МЕТАМОРФИЗМ,
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ, ГРАНИТОИДЫ, ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ И
ЭВОЛЮЦИИ КИСЛЫХ МАГМ.

Целью проекта является установление закономерностей гранитообразования в Сибирском кратоне и коллизионных зонах обрамляющих кладчатых поясов. Выполнено петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение архейских и палеопротерозойских протолитов тоналит-трондьемит-гранодиоритовых ассоциаций (ТТГА) архейских и палеопротерозойских метаморфических пород Сибирского кратона (шарыжалгайского и китойского гранулитового комплексов; гранито-гнейсов ТТГА Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов и пород поясов), фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (гранито-гнейсов) Гарганской глыбы. Проведено сравнение их петрогеохимических параметров и сопоставление архейских и протерозойских гранитоидов Сибирского кратона и Свекофенского щита.

Установлено, что начало магматизма в Приольхонском районе Прибайкалья положили EMORB спрединговой зоны и надсубдукционные андезитоиды, вплоть до наземных излияний щелочных базальтов Ангино-Таланчанской островной дуги, а развитие сдвиговой тектоники стимулировало процессы мигматизации и выплавления синколлизионных гранитоидов шаранурского комплекса. Широкий спектр состава и геохимии внутриплитных магматических пород в пределах позднепалеозойского и раннемезозойского ареалов магматизма Прибайкалья и Монголии от субщелочных до редкометалльных гранитоидов определяет перспективность в отношении генетической связи с ними разнообразных типов оруденения.

Методами баланса масс и микроэлементного моделирования показано, что формирование трахинадезит-трахит-комендитового ряда пород в составе ЩБТК серии определяется протеканием процессов кристаллизационной дифференциации или «фильтр-прессинга» в малоглубинных магматических камерах с участием минерального парагенезиса Pl-Kfs-Cpx-Orx-Amph-Bt-Mgt-Ilm-Ap и преобладающей ролью полевошпатового компонента. Направленное снижение объема кристаллического компонента в указанном ряду пород предполагает протекание процессов кристаллизационной дифференциации. Проверка этого предположения выполнена методом баланса масс с применением в расчетах модальных составов минералов-вкрапленников, составов фельзитовой основной массы и составов пород. Результаты расчетов показывают удовлетворительное решение при установлении вещественно-

минеральных связей между различными типами трахитов вулкана Белоголовский, в данном случае между обильно порфировыми Pl+Fsp+Cpx+Bt трахитами, отличающимися заметно более высокими концентрациями Ba, и плагиопорфировыми Pl+Fsp+Cpx+Orx+Bt трахитами с умеренными концентрациями Ba. По результатам проведенного микроэлементного моделирования с использованием данных о распределении редких элементов в минералах из пород серии, была получена схема дифференциации пород массива Белоголовский. Следует предполагать существование двух линий дифференциации магм: 1. трахиандезитбазальт-трахиандезит-трахит-комендитовой, и 2. трахиандезитбазальт-трахиандезит-трахитовой.

В результате проведенных петролого-геохимических и изотопно-геохимических (Sm-Nd, U-Pb) исследований доказана парагенетическая связь редкометалльных пегматитов Южно-Сангиленского пояса с гранитами раннепалеозойского кыстарысского комплекса. Необычная редкометалльная специализация этих гранитов и пегматитов (обогащение Zr, Nb, Y, REE) заставляет предполагать мантийное влияние на источники гранитных расплавов. Для его оценки исследован состав и изотопные (Rb-Sr, Sm-Nd) характеристики раннепалеозойских габбро-гранитных плутонических ассоциаций ЮСП. Установлено два главных фактора, определивших геохимические особенности гранитоидов и редкометалльных пегматитов пояса: (1) изменение в ходе коллизионного орогенеза состава мантийных источников и (2) вовлечение в процессы корового плавления все более древнего и радиогенного субстрата.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6-7
РАЗДЕЛ 1 Модель развития Ольхонского региона. Петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение процессов метаморфизма и метасоматоза и их роли в формировании гранитоидов в раннем докембрии и фанерозое на юге Сибирской платформы и в ее складчатом обрамлении (д.г.-м.н. Макрыгина В.А., д.г.-м.н. Левицкий В.И., к.г.-м.н. Левицкий И.В., к.г.-м.н. Куц Л.В.).....	8-11
РАЗДЕЛ 2. Анализ индикаторных петрологических и изотопно-геохимических характеристик для установления коллизионной и внутриплитной геодинамической природы фанерозойских гранитоидов и выявление среди них рудоносных геохимических типов в пределах модельных объектов Прибайкалья и Монголии (д.г.-м.н. Антипин В.С., к.г.-м.н. Шептякова Н.В.).....	11-15
РАЗДЕЛ 3. Источники вещества, процессы формирования и эволюции кислых магм в различных геодинамических обстановках (на основе минералогических, термобарогеохимических и изотопно-геохимических данных) (д.г.-м.н. Перепелов А.Б., д.г.-м.н. Перетяжко И.С., к.г.-м.н. Савина Е.А., д.г.-м.н. С.В. Ефремов, к.г.-м.н. С.С. Цыпукова, к.г.-м.н. Ю.Д. Щербаков).....	15-20
3.1. Процессы дифференциации и смешения магм при формировании трахибазальт-трахит-комендит-пантеллеритовой серии вулкана коллизионной геодинамической обстановки (г.-м.н. Перетяжко И.С., к.г.-м.н. Савина Е.А.).....	15-17
3.2. Создание модели происхождения и эволюции адакитовых гранитоидных магм в гранитно-метаморфических комплексах Тувино-Монгольского микроконтинента (д.г.-м.н. С.В. Ефремов).....	17-19
3.3. Создание моделей происхождения и эволюции кислых примитивных, субщелочных и щелочных магм во внутриплитных и надсубдукционных геодинамических обстановках д.г.-м.н. Перепелов А.Б., к.г.-м.н. С.С. Цыпукова, к.г.-м.н. Ю.Д. Щербаков).....	19-20
РАЗДЕЛ 4 Изучение возрастных взаимоотношений и геохимии редкометалльных пегматитов различной специализации (Li, Li-Cs-Ta) Центрального Сангилена (Тыва) (к.г.-м.н. Кузнецова Л.Г.).....	20-22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Основные результаты проведённого исследования.....	22-25
Список использованных литературных источников.....	25
Список публикаций по теме проекта за 2016 г.....	26-30
ПРИЛОЖЕНИЕ А	31

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении научных исследований по программе проекта в 2013-2016 годах основное внимание уделялось анализу источников при формировании кислых магматических и метаморфических комплексов и связанных с ними процессов мантийно-корового взаимодействия на примере складчатого обрамления и выступов фундамента Сибирского кратона.

Петролого-геохимическими методами в гранулитовых и зеленокаменных комплексах исследованы палеоархейские ТТГА, палео- и мезоархейские основные метамагматические породы, метаосадочные породы среднего-кислого составов, карбонатные, которые являются субстратом для мезо-и неоархейских ультраметаморфических гранитоидов. Проведена типизация и сравнительный анализ вещественных и изотопных характеристик мезо-, неоархейских ультраметаморфических и анатектических гранитоидов китойского комплекса. Изучены протолиты палеопротерозойских ультраметаморфических гранитоидов шарыжалгайского комплекса и интрузивных посткинematических гранитов шумихинского, приморского и саянского комплексов Восточной Сибири. Выполнена систематизация, обоснована возможность формирования последних при генерации ультраметаморфических гранитов шарыжалгайского комплекса.

Комплексное изучение всех пород Ольхонского региона: метаосадочных и метавулканитов, основных, средних и кислых интрузивных пород и их метаморфических и метасоматических изменений и последовательности образования на основе анализа их макро- и микросостава и структурного положения приводит к построению модели формирования региона, несколько отличающейся от общепринятой.

В отчетный период проводились исследования ряда гранитоидных объектов с целью установления индикаторных изотопно-геохимических критериев для определения коллизионной, тесно связанной с метаморфизмом, и внутриплитной геодинамической природы разновозрастных гранитоидов и выявления среди них рудоносных геохимических типов в пределах отдельных регионов Прибайкалья и Монголии. Наряду с изучением палеозойского и мезозойского гранитоидного магматизма Центральной Азии специальное внимание было уделено процессам образования и роли полигенных источников адакитовых магм на границах литосферных плит в современных и палеогеодинамических обстановках, что расширяет возможности для расшифровки процессов мантийно-корового взаимодействия. Одной из важных задач по проекту является исследование процессов флюидно-магматической дифференциации кислых K-Na щелочных магм и их роли в формировании трахит-трахириолит-комендитовой ассоциации пород, которые являются потенциально рудоносными образованиями.

При исследовании магматических комплексов в Приольхонском районе Прибайкалья установлено, что начало магматизма положили EMORB спрединговой зоны и надсубдукционные андезитовиды, вплоть до наземных излияний щелочных базальтов Ангино-Таланчанской островной дуги, а развитие сдвиговой тектоники стимулировало процессы мигматизации и выплавления синколлизонных гранитоидов шаранурского комплекса. В результате сравнительного петрогеохимического анализа показано, что широкий спектр состава и геохимии пород в пределах позднепалеозойского и раннемезозойского ареалов внутриплитного магматизма Прибайкалья и Монголии от щелочных, субщелочных до редкометалльных гранитоидов определяет перспективность в отношении генетической связи с ними разнообразных типов оруденения.

Впервые предложена «эклогитовая» модель формирования расплавов Mg-андезитовой и NEB-адакитовой вулканических ассоциаций южного фланга Центральной Камчатской депрессии (ЦКД). Получены новые минералогические-геохимические результаты исследований трахибазальта, муджиерита, трахидацита, комендитов и пантеллеритов вулкана Немрут (Восточная Турция), рассчитаны условия образования минералов и проанализированы составы стекол расплавных включений в оливинах и матриксе пород. Показано, что умеренно-щелочной щелочно-базальт-трахит-комендитовый вулканизм в вулканическом поясе Срединного хребта Камчатки проявился в позднеплиоцен-раннеплейстоценовое время после завершения вулканизма надсубдукционного геохимического типа. Установлено, что происхождение трахитов, комендитовых трахитов и комендитов в составе умеренно-щелочной серии обусловлено процессами кристаллизационной дифференциации трахиандезитовых и трахитовых магм. Результатами изотопно-геохимических исследований определено, что источники умеренно-щелочных магм вулканического пояса Срединного хребта Камчатки имеют гетерогенное происхождение и отвечают составам деплетированной литосферной мантии «тихоокеанского» MORB типа и рециклированной литосферы с вещественными характеристиками, близкими к MORB «индийского» типа.

По результатам изучения редкометалльных пегматитов Южно-Сангиленского и Центрально-Сангиленского пегматитовых поясов (ранне- и позднепалеозойском, соответственно), получены новые данные, свидетельствующие о двукратном проявлении импульсов редкометалльного гранитного магматизма этой провинции, что существенно расширяет возрастной интервал его развития. Непосредственно фундаментальное и практическое значение придавалось изучению возрастных взаимоотношений, вещественного состава и геохимии редкометалльных гранитоидов и пегматитов различной специализации (Li, Li-Cs-Ta) Центрального Сангилена (Тыва).

РАЗДЕЛ 1. Модель развития Ольхонского региона. Петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение процессов метаморфизма и метасоматоза и их роли в формировании гранитоидов в раннем докембрии и фанерозе на юге Сибирской платформы и в ее складчатом обрамлении (д.г.-м.н. Макрыгина В.А., д.г.-м.н. Левицкий В.И., к.г.-м.н. Левицкий И.В., к.г.-м.н. Куш Л.В.).

Комплексное изучение всех пород Ольхонского региона: метаосадочных и метавулканитов, различных по составу интрузивных пород, их метаморфических и метасоматических изменений и последовательности образования на основе анализа их макро- и микросостава и структурного положения приводит к построению модели формирования региона, несколько отличающейся от общепринятой.

1. Метаграувакки, представляющие основу структур купольных зон, по соотношению макро- и микрокомпонентов реставрируются как продукты неполной переработки островодужного магматизма. Их неопротерозойские модельные возраста ($T(DM)_{Nd} = 1350-1549$ млн. лет) свидетельствуют об отсутствии влияния вещества кратона и подтверждают, что в то время здесь существовала обстановка, близкая к индонезийско-филиппинской: серия незрелых островных дуг, коротко живущих, разделенных междуговыми или задуговыми бассейнами с зонами спрединга, поставляющими EMORB. Метабазальты, обрамляющие купольные зоны, имеют именно такие характеристики. Характерно почти полное отсутствие среди осадочных пород метапелитов.

2. Последняя дуга каледонского времени - Ангино-Таланчанская, продукты которой наименее изменены метаморфизмом. Они представлены метавулканитами от метабазальтов-андезибазальтов до андезитов и многофазными массивами габбро-диорит-гранодиорит-гранитов с характеристиками островодужных пород и щелочными базальтами с корами выветривания. Это однозначно зрелая островная дуга, и изотопные характеристики ее пород лежат близко к линии мантийной последовательности – $T(DM)_{Nd} = 705-860$ млн. лет и $\epsilon Nd = 3,5$.

3. Задуговые или междуговые бассейны были мелководными и выполнялись кварцит-карбонатными породами и основной пирокластикой (диопсидовыми сланцами). В ольхонской серии кварциты и мраморы содержат графит, обогащены Cr, V, Ag, Mo, Zn – элементами, типичными для черносланцевой формации, то есть отлагались при восстановительном режиме. Диопсидовые сланцы представляли пирокластику, связанную с излияниями базальтов. По составу они похожи на базальты, но содержат графит, переменные количества кварца (диопсидовые плагиосланцы), либо кальцита (диопсид-скаполитовые сланцы). Низкие содержания V и Li свидетельствуют о слабой солености бассейнов.

4. Образование Ангино-Таланчанской дуги с наземным вулканизмом изменило обстановку осадконакопления. На ее аэрируемых склонах в окислительной обстановке отлагались метаграувакки, мраморы, кварциты без графита, но обогащенные Mn, Ba и P, вплоть до образования карбонатных Mn рудопроявлений и развития гондитовой формации (ангинская толща). В сопряженном с ней преддуговом бассейне отлагалась хангарульская серия, в протолите которой преобладала пирокластика средних вулканитов.

5. В Ольхонском регионе магматизм очень разнообразен, но подчиняется определенной зональности, обусловленной тектоническим развитием данного участка коры и связанным с ним зональным метаморфизмом. Коллаж пластин, слагающих его, неоднороден и испытывает сдвиго-взбросовые движения. Главная сдвиговая зона делит его на северное крыло, испытывающее опускание при повышенных давлениях, тогда как южное крыло воздымается и характеризуется более низкими давлениями и температурами. В результате в северном крыле возникают условия гранулитовой фации со слабым проявлением эндербитов и чарнокитов и будинированными реликтами реститовых перидотитов. Южнее главной сдвиговой зоны на породы наложены два этапа амфиболитовой фации, что приводит к широкому развитию мигматизации с последующим анатексисом в пластинах, сложенных метаграувакками – продуктами разрушения промежуточных островных дуг по модели Индонезийско-Филиппинского моря. В результате формируется синсдвиговый шаранурский гранитоидный комплекс с купольными зонами и участками гранитов – по геохимии типичные синколлизийные S-граниты. Он сопровождается серией перемещенных жил пегматоидных гранитов, а на завершающем этапе при возрастающей проницаемости толщ появляется серия интрузивных однородных среднезернистых биотитовых гранитных жил и небольших массивов, близких по геохимии и возрасту шаранурским гранитам. Но жилы используют уже поперечные к главным простираниям сдвигов трещины, что говорит о постепенной смене направления тектонических напряжений.

6. Одновременно с массовыми выплавками шаранурских гранитов по сдвиговым нарушениям вдоль юго-восточной части региона «выдавливаются» пластообразные тела низкощелочных габбро. В результате взаимодействия таких контрастных расплавов появляются приповерхностные минглинг-дайки, а при смещении на большей глубине – порции расплавов щелочных сиенитов и субщелочные поздние фазы габброидов, либо зоны нефелинизации у их контактов. Подтверждением такой модели процесса является несвойственная глубинным щелочным сиенитам бедность редкими элементами и отсутствие мантийных изотопных меток. Параллельно продолжается магматизм последней «живой» к тому времени Ангино-Таланчанской островной дуги с образованием многофазного Крестовского массива габбро-диорит-гранодиорит-гранитного состава.

7. Коллапс раннепалеозойской коллизионной системы приводит к постепенному переходу к новому, внутриплитному этапу развития региона. Магматизм его выражается в появлении южного «ожерелья» редкометалльных пегматитов, приуроченных, в основном, к габброидным массивам и имеющих поперечное положение к более ранним простираниям пород и сдвиговых пластин. Их возраст 390 млн. лет явно относится к новому геодинамическому этапу развития региона.

8. Однако, как и в шаранурских гранитоидах, здесь наблюдается зависимость геохимического типа пегматитов от особенностей состава вмещающей толщи. Пегматиты, залегающие в габброидах ангинской толщи, содержат амазонит и по минерализации относятся к Li-F типу гранитоидов вплоть до комплексного типа (жила Иликсин). Ташкинейское тело пегматоидных гранитов, залегающее в гнейсах ольхонской серии, лишено Li, F и B, но богато Rb, Cs, Be, W, Sn, Nb, Ta, REE, то есть относится скорее к бериллий-ниобиевому типу пегматитов [Редкометалльные пегматиты, т.2, 1997].

9. По более молодым орогенным системам мы знаем, что продолжительность коллизионных процессов достаточна велика - более 30-60 млн. лет, тем не менее, что поражает в истории развития Ольхонского региона, это совмещение в выявленном отрезке времени 20-28 млн. лет многих геодинамических обстановок: аккреционных событий, покровно-надвигового и сдвигового тектогенеза, проявления практически одновременно островодужного интрузивного магматизма, габброидного мантийного магматизма, синколлизионного гранитоидного корового анатексиса, взаимодействия этих контрастных магм с порождением щелочных и метасоматических проявлений и, наконец, робкое начало нового внутриплитного этапа. Он отстоит во времени на 90 млн. лет, выражается в цепочке редкометалльных амазонитовых и бериллиевого-ниобиевых пегматоидных гранитоидов. Этот регион является уникально разнообразным по проявлению геологических процессов и должен быть полигоном воспитания новых профессионалов геологов и геохимиков.

10. Выполнено петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение архейских и палеопротерозойских протолитов тоналит-трондьемит-гранодиоритовых ассоциаций (ТТГА) архейских и палеопротерозойских метаморфических пород Сибирского кратона (шарыжалгайского и китойского гранулитового комплексов; гранито-гнейсов ТТГА Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов и пород поясов), фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (гранито-гнейсов) Гарганской глыбы. Проведена типизация и сравнительный анализ вещественных и изотопных характеристик мезо-, неоархейских ультраметаморфических и анатектических гранитоидов китойского комплекса. Изучены протолиты палеопротерозойских ультраметаморфических гранитоидов шарыжалгайского комплекса и интрузивных посткинematических гранитов шумихинского, приморского и

сааянского комплексов Восточной Сибири. Выполнена систематизация, обоснована возможность формирования последних при генерации ультраметаморфических гранитов шарыжалгайского комплекса. В результате выполнения проекта определены петролого-геохимические и изотопно-геохронологические характеристики пород субстрата, круг разновозрастных ультраметаморфических гранитоидов и закономерности гранитообразования при мантийно-коровом взаимодействии. Проведено сравнение их петрогеохимических параметров и сопоставление архейских и протерозойских гранитоидов Сибирского кратона и Свекофенского щита.

В Восточной части Балтийского щита и в Присаянском краевом выступе Сибирского кратона присутствуют одинаковые типовые элементы континентальной коры: гранито-гнейсы, сложенные тоналит-трондьемит-гранодиоритовыми ассоциациями, зеленокаменные и гранулитовые пояса, гранитные комплексы, гранито-гнейсовые ареалы. В обоих регионах выявлена близкая последовательность проявления раннедокембрийских процессов. На Балтийском щите по сравнению Присаянским выступом большее распространение имеют архейские гранито-гнейсы ТТГА, зеленокаменные пояса с коматиитами, габбро-анортозиты, породы гранулитовой и амфиболитовой фации повышенных давлений, меньшее - гранулитовые комплексы. На Балтийском щите рост континентальной коры происходил, главным образом, в мезоархее, то в Присаянском выступе - в раннем палеопротерозое. Для одних и тех же временных периодов фиксируются близкие петрогеохимические характеристики: палеоархейских гранито-гнейсов ТТГА Карельской гранит-зеленокаменной области и Присаянского краевого выступа; неархейских ультраметаморфических гранитоидов кольского и китойского метаморфических комплексов, развитых по метамагматическим и метаосадочным породам; палеопротерозойских постколлизийных гранитоидов в восточной части Балтийского щита и в юго-западной части Сибирского кратона. Это позволяет считать, что они являлись частями единого древнего континента и формировались по одному механизму в архее и палеопротерозое.

РАЗДЕЛ 2. Анализ индикаторных петрологических и изотопно-геохимических характеристик для установления коллизионной и внутриплитной геодинамической природы фанерозойских гранитоидов и выявление среди них рудоносных геохимических типов в пределах модельных объектов Прибайкалья и Монголии (д.г.-м.н. Антипин В.С., к.г.-м.н. Шептякова Н.В.).

Локальное исследование цирконов из шаранурских гранитов на ионном масс-спектрометре SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) показало, что ядра цирконов начинали расти 505-487 млн.

лет назад на больших глубинах, так как содержат раскристаллизованные расплавные включения. Внешние оболочки цирконов имеют возраст 485-475 млн. лет и слабо раскристаллизованные расплавные включения, свидетельствующие о значительном подъеме блока пород с кристаллизующимся гранитным расплавом. По данным U-Pb датирования средний возраст центральных частей магматических цирконов в K-Na гранитоидах шаранурского комплекса равен 505 млн. лет, краевых - 477 ± 3 млн. лет. Другими исследователями получен возраст по граносиенитам и кварцевым сиенитам о. Ольхон в 495 ± 6 млн. лет, который близок по времени формирования к K-Na шаранурским гранитоидам и наряду с их пространственной близостью подтверждает генетическое родство этих известково-щелочных и субщелочных гранитоидов. Таким образом, интервал развития этапа покровной тектоники и последующего сдвигового тектогенеза имел продолжительность 10-15 млн. лет.

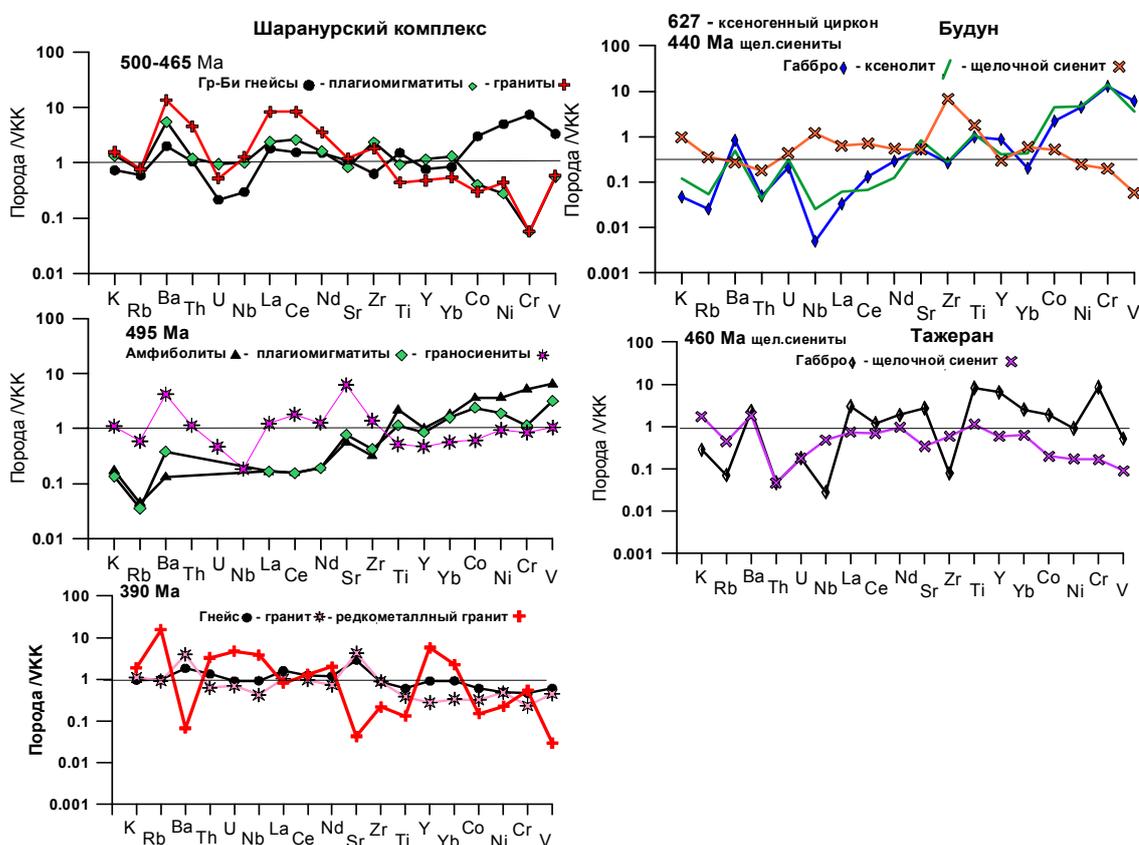


Рисунок 2.1 – Сравнение редкоземельных составов сиенитов и граносиенитов Шаранурского комплекса, редкометалльных гранитов и щелочных сиенитов Будунского и Тажеранского массивов.

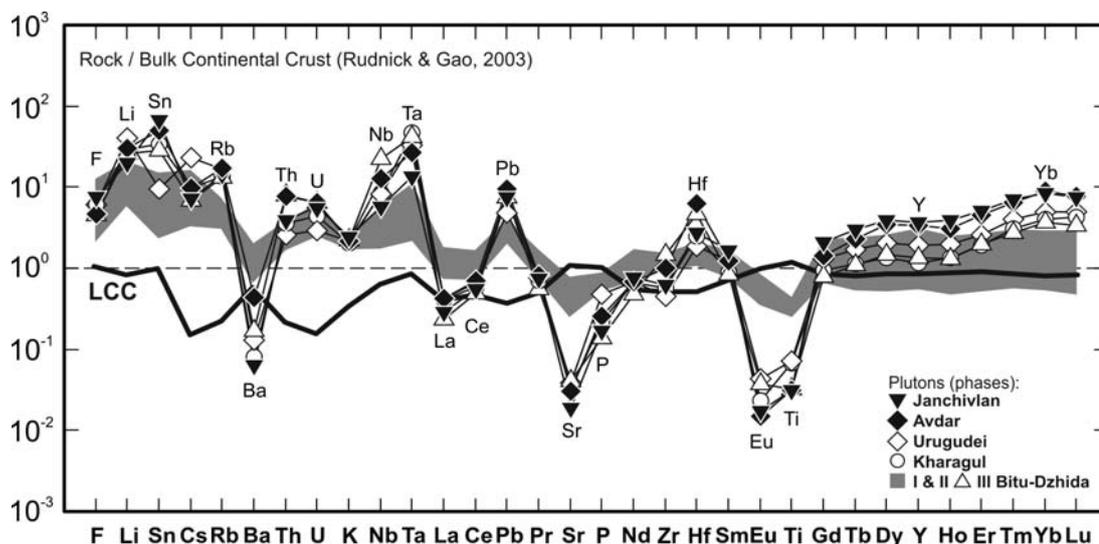
Установлено, что главные типы раннепалеозойских гранитоидов являются высококалийевыми и высокоглиноземистыми породами, что характерно для коллизионных гранитоидов S-типа [1, 2, 3]. Гранитоиды Прибайкалья (о. Ольхон, хр. Хамар-Дабан),

представленные автохтонными и аллохтонными фациями, находятся в тесной пространственной ассоциации с гнейсами, мигматитами и плагиогранитами, обычно приурочены к гранитогнейсовым куполам и процессы магматической дифференциации в них почти не проявлены. Они характеризуются повышенными, относительно среднего состава континентальной коры, содержаниями P, Rb, Th и иногда обогащены Pb, Zr, Cr, Ni (в соответствии с рисунком 2.1). Синколлизийные гранитоиды Ольхонского региона приурочены к выходам гранат-биотитовых и биотитовых гнейсов ольхонской серии, которые по составу реставрируются как метаграувакки. Возраст области сноса $T(DM)_{Nd}=1549$ млн лет и отсутствие метapelитов свидетельствуют, что гнейсы – продукт разрушения островных дуг, а не кратона. Именно в пачках гнейсов развивается интенсивная мигматизация, которая приводит к росту гранитогнейсовых куполов и последующему анатексису. Выплавки раннепалеозойских гранитоидов наследуют геохимические особенности вмещающих пластин и взаимодействуют с близко одновременно (475-480 млн лет) внедряющимися габброидными расплавами с появлением на контактах щелочных метасоматитов и щелочных пород. Выявленные и исследованные в Прибайкалье редкометалльные пегматоидные граниты с Be-минерализацией являются среднепалеозойскими постколлизийными образованиями (390 ± 5 млн лет) и не должны относиться к коллизийному шаранурскому комплексу.

Позднепалеозойский и раннемезозойский ареалы магматизма, проявленные в регионах Центральной Азии (Прибайкалье, Монголия), характеризуются развитием на их периферии субщелочных гранитоидов, плюмазитовых и редкометалльных гранитов интрузивно-субвулканических комплексов, которые фиксируют переход к внутриплитному магматизму с проявлением разнообразных геохимических типов пород. Геохимическая эволюция внутриплитного магматизма выражается в процессах дифференциации многофазных интрузий гранитоидов, ростом концентраций F, Li, Rb, Cs, Sn, W, Be, Ta и Pb и уменьшением содержаний Ba, Sr, Zn, Zr, Th и U (в соответствии с рисунком 2.2).

В результате проведенных исследований установлено, что в Ольхонском и Хамар-Дабанском регионах Прибайкалья проявлены различные геохимические типы раннепалеозойских гранитоидов, которые включают образования Na-щелочности (мигматиты, плагиограниты), известково-щелочные и субщелочные (K-Na гранитоиды, граносиениты и кварцевые сиениты). Районы Приольхонья и о.Ольхон прижаты к коллизийному шву и представлены рядом узких пластин сдвигового характера, в каждой из которых происходило выплавление гранитов меняющейся щелочности и редкоэлементного состава. Выявлена приуроченность автохтонных и аллохтонных фаций гранитоидов к гранитоигнейсовым куполам, в пределах которых процессы магматической дифференциации почти не проявлены. Изотопно-геохимические данные подтверждают, что раннепалеозойские гранитоиды

Прибайкалья имеют коровый источник расплавов, относятся к образованиям S-типа, сформированным в коллизионной геодинамической обстановке и имеют вещественное сходство с гранитоидами Гималаев и Центральной Испании. Эти гранитоиды коллизионного происхождения объединяет сходство петрогеохимических особенностей, обусловленное условиями плавления корового субстрата. В исследованных регионах Прибайкалья не выявлено признаков оруденения, связанного с проявлениями коллизионного магматизма.



Содержания элементов (г/т) нормированы по среднему составу континентальной коры [4].

Рисунок 2.2 – Распределение редких элементов в редкометалльных гранитах Прибайкалья и Монголии.

Вероятно, в Ольхонском регионе коллизионный режим сменился внутриплитным, о чем свидетельствует развитие щелочных сиенитов и редкометалльных пегматоидных гранитов более молодого среднепалеозойского возраста, происхождение которых еще предстоит расшифровать изотопно-геохимическими исследованиями. Будунский массив щелочных сиенитов может иметь самостоятельный глубинный источник, так как в отличие от других субщелочных и щелочных образований региона он обогащен Zr (1300-4500 ppm), Nb и REE и сопровождается образованием редкометалльных пегматитов.

В отличие от коллизионного гранитоидного магматизма, в Прибайкалье, петрогенезис внутриплитных гранитоидов не зависит от состава и возраста вмещающих пород. Разнообразие геохимических типов этих гранитоидов, связанных как с коровыми, так и с мантийными источниками, а также с процессами мантийно-корового взаимодействия, может быть обусловлено влиянием плюма на геологическую историю внутриплитного магматизма. Широкий спектр состава и геохимии пород в пределах позднепалеозойского и раннемезозойского ареалов магматизма Прибайкалья и Монголии от щелочных, субщелочных

до редкометалльных гранитоидов определяет перспективность в отношении генетической связи с ними разнообразных типов оруденения.

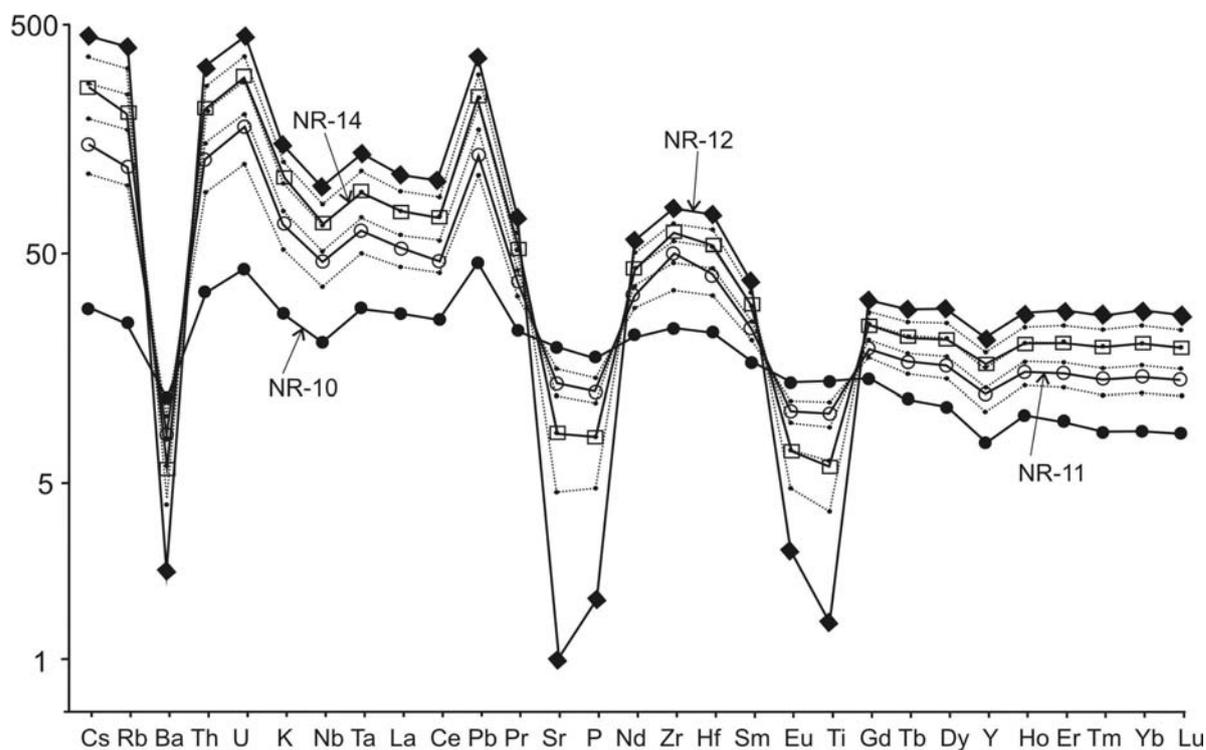
В отличие от коллизионного магматизма, связанного своим происхождением с гранито-гнейсовыми куполами в Прибайкалье, петрогенезис внутриплитных гранитоидов не зависит от состава и возраста вмещающих пород. Разнообразие геохимических типов этих гранитоидов, связанных как с коровыми, так и с мантийными источниками, а также с процессами мантийно-корового взаимодействия, может быть обусловлено влиянием плюма на геологическую историю внутриплитного магматизма. Широкий спектр состава и геохимии пород в пределах позднепалеозойского и раннемезозойского ареалов магматизма Прибайкалья и Монголии от щелочных, субщелочных до редкометалльных гранитоидов определяет перспективность в отношении генетической связи с ними разнообразных типов оруденения.

РАЗДЕЛ 3. Источники вещества, процессы формирования и эволюции кислых магм в различных геодинамических обстановках (на основе минералогических, термобарогеохимических и изотопно-геохимических данных).

3.1. Процессы дифференциации и смешения магм при формировании трахибазальт-трахит-комендит-пантеллеритовой серии вулкана коллизионной геодинамической обстановки (д.г.-м.н. Перетяжко И.С., к.г.-м.н. Савина Е.А.).

Центры трахибазальт-трахит-комендитового вулканизма крайне редко встречаются в обстановках конвергенции литосферных плит. Одним из них является вулкан Немрут (Восточная Турция), который формируется в области коллизии Анатолийской и Арабской плит. Изучены минералого-геохимические и фазовые особенности комендитов и пантеллеритов вулкана Немрут, получены оценки условий образования минералов, определены составы стекол матрикса пород и расплавных включений из фенокристов анортоклаза, фаялита, геденбергита. Методом лазерной абляции уствновлены составы стекол матрикса и фенокристов минералов, рассчитаны коэффициенты распределения P, B, Li, Rb, Cs, Ba, Sr, Zr, Hf, Ta, Nb, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Th, U, Y, PЗЭ между фазами и стеклом. На основе масс-балансового моделирования составов комендитов и пантеллеритов, экспериментальных данных и результатов изучения расплавных включений разработаны модели образования, процессов накопления и кристаллизации минералов в комендитовых и пантеллеритовых магмах, а также генетических взаимосвязей между трахит-комендитовыми, комендитовыми и пантеллеритовыми расплавами. Из масс-балансовых расчетов состава пород и минералогических наблюдений следует, что магмы или расплавы муджиеритового и бенморейтенового составов могли формироваться как в

результате фракционной кристаллизации щелочно-базальтового расплава (массовая доля расплава, $F=0.63-0.79$), который ассимилировал небольшое количество корового вещества, так и в процессе смешивания трахибазальтовой ($F=0.16-0.45$) и трахидацитового ($F=0.45-0.58$) магм при наличии избыточных для этой модели фаз оливина, плагиоклаза, магнетита и апатита (в сумме 10-24 мас.%) (в соответствии с рисунком 3.1.1). Составы посткальдерных бенморейтов и гибридных пород трахидацитового состава, имеющих признаки магматического смешения (наличие ксенокристов бенморейтовой и комендитовой магм, стекла переменного состава), наилучшим образом рассчитываются как смеси щелочно-базальтового ($F=0.7-0.5$) и низкожелезистого комендитового ($F=0.3-0.5$) расплавов. Очаги низкожелезистого комендитового расплава появились на посткальдерной стадии в процессе фракционной кристаллизации щелочных магм (трахитовой и высокожелезистой комендитовой). По-видимому, многократные извержения низкожелезистых комендитов в кальдере и «рифтовой» зоне вулкана Немрут были вызваны внедрениями бенморейтовой магмы в такие очаги.



Составы проб NR-10 и NR-12. Нормированные к значениям в примитивной мантии по (McDonough, Sun, 1995) спектры распределения элементов для бенморейта (NR-11) и гибридной породы (NR-14) трахидацитового состава наилучшим образом описываются этой моделью. Пунктирные линии с точками – нормированные спектры смешанных расплавов с шагом 20 мас.%.

Рисунок 3.1.1 – **Модель смешения щелочно-базальтового и низкожелезистого комендитового расплавов вулкана Немрут.**

Из оценок условий образования магм вулкана Немрут следует, что локальные камеры с комендитовыми и пантеллеритовыми ненасыщенными водой расплавами могут существовать в центрах щелочного вулканизма на глубинах от 5 до 10-15 км в интервале температур $<750^{\circ}\text{C}$ при летучести кислорода ниже буфера FMQ и литостатическом давлении 1-4 кбар.

3.2. Создание модели происхождения и эволюции адакитовых гранитоидных магм в гранитно-метаморфических комплексах Тувино-Монгольского микроконтинента (д.г.-м.н. Ефремов С.В.).

Для объяснения появления производных кислых магм с адакитовыми характеристиками в пределах коллизионных орогенов обычно используется генетическая модель плавления пород нижней континентальной коры на глубинах более 45 км, либо плавление базитового протолита подготовленного в зоне субдукции на предыдущей стадии геологического развития региона (захороненный слэб). Обе модели корректны, однако не всегда позволяют объяснить особенности производных кислых магм с адакитовыми характеристиками.

С целью снятия противоречий при изучении раннепалеозойских гранитоидов Восточного Саяна, была предложена новая модель образования кислых магм с адакитовыми характеристиками в коллизионных орогенах. Модель подразумевает плавление геохимически специализированного источника, расположенного в субконтинентальной литосферной мантии. Этот источник мог образоваться в зоне субдукции, под воздействием адакитовых магм на породы мантийного клина и субконтинентальной литосферной мантии на одном из этапов геологического развития региона и ремобилизован при коллизионном событии в раннем палеозое. Выполненное геохимическое изучение позволило отнести изученные массива к единой, генетически связанной ассоциации пород: NEB – адакиты – адакитовые граниты. Анализ геолого-геохимической информации по неопротерозойскому гранитоидному магматизму, архейским породам ТТГ ассоциации Гарганской глыбы и изотопные данные позволили сделать вывод о существовании единого источника вещества для неопротерозойских и раннепалеозойских гранитоидов. Возраст источника был оценен по Rb/Sr и Sm/Nd модельным датировкам и составил 2500 ± 100 млн. лет. Полученная модельная датировка довольно близка к времени образования (2700 млн. лет, U/Pb по цирконам) и возрасту регионального метаморфизма (2600 млн. лет, U/Pb по цирконам), проявленному в породах ТТГ ассоциации Гарганской глыбы, представляющей фундамент континентального блока, вмещающего гранитоиды. Это позволяет выдвинуть гипотезу об образовании источника магм гранитоидов в результате неoarхейского процесса корообразования. Выполненные на этой основе генетические построения могут подразумевать образование гранитоидов как за счет

геохимически специализированного источника в пределах субконтинентальной литосферной мантии, так и в результате плавления серогнейсовых толщ, слагающих фундамент континентального блока. Для объяснения изотопных данных рассмотрены две генетических модели, «увязывающие» в единую систему образование базитов NEB типа и гранитоидов с адакитовыми характеристиками. Первая модель подразумевает смешение продуктов плавления серогнейсовой толщи с основной магмой, аналогичной по составу щелочным оливиновым базальтам океанических островов (OIB). Вторая модель подразумевает плавление геохимически специализированного источника, расположенного в субконтинентальной мантии. Модель основана на представлениях об образовании базитов NEB и низкокремнистых адакитов (LSA) за счет разной степени плавления единого источника вещества. Диаграмма на Рисунке 3.2.1 иллюстрирует возможность реализации этого механизма образования магм. Однако в отличие от простой модели смешения между продуктами плавления океанической и континентальной литосферы следует подразумевать существование геохимически специализированного домена, необходимого для объяснения изотопных характеристик гранитоидов и базитов NEB.

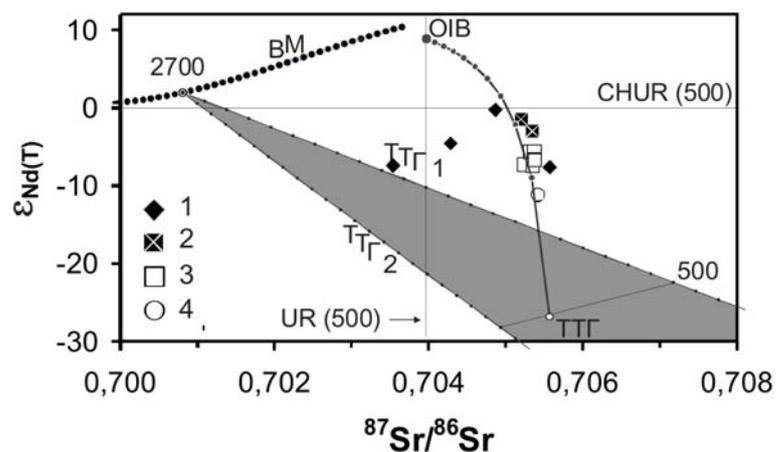


Иллюстрация модели образования раннепалеозойских базитов и гранитоидов хребта Мунку-Сардык за счет плавления геохимически специализированного субконтинентального мантийного источника с участием вещества пород серогнейсового основания фундамента континентального блока. MSA – метасоматический агент (средний состав ТТГ). LM – литосферная мантия ($\epsilon\text{Nd}(500) = 8.88$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(500)} = 0.70312$, Sr = 80, Nd = 10 г/т). ELM – геохимически специализированная литосферная мантия $\epsilon\text{Nd}(2700) = 1.9694$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(2700)} = 0.70081$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.133$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1925$. AMF - состав амфиболита согласно залегающего в серогнейсовой толще. Линия соединяющая LM и MSA – линия смешения.

Рисунок 3.2.1 – Диаграмма ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_T – $\epsilon\text{Nd}(T)$.

Несмотря на различие предложенных моделей, для объяснения геохимических особенностей гранитоидов, они обе требуют ремобилизации геохимических резервуаров подготовленных на предыдущих стадиях геологического развития региона. Это позволяет говорить о том, что геохимическая специфика гранитоидов обусловлена не их геодинамической позицией, а составом источника вещества. Полученные результаты указывают на то, что геохимическая информация по гранитоидам в пределах коллизионных орогенов должна крайне осторожно использоваться для палеогеодинамических реконструкций.

3.3. Создание моделей происхождения и эволюции кислых примитивных, субщелочных и щелочных магм во внутриплитных и надсубдукционных геодинамических обстановках (д.г.-м.н. Перепелов А.Б., к.г.-м.н. Цыпукова С.С., к.г.-м.н. Щербаков Ю.Д.)

Рассмотрена трахиандезит-трахит-комендитовая ассоциация пород, входящая в щелочно-базальт-трахит-комендитовую серию (ЩБТК), которая проявлена в тыловой зоне Срединного хребта Камчатки в районе вулканического центра Белоголовский. Целью работы было установить условия образования кремнекислых щелочных расплавов в составе ЩБТК серии - трахиандезитов, трахитов и комендитов с позиций процессов дифференциации магм, определить условия формирования редкоземельных минералов в трахитах на основе данных, полученных EDS и LA-ICP-MS методами.

Парагенезисы минералов-вкрапленников в трахиандезитах пониженной кремнекислотности представлены $Pl+Cpx+Ol\pm Opx\pm Amph$ ассоциацией, а в более кремнекислых трахиандезитах оливин становится редким – $Pl+Opx+Cpx\pm Ol\pm Amph+Mgt$. Минералы-вкрапленники в трахитах представлены, как правило, ассоциацией $Pl+Fsp+Cpx+Bt$ с участием в некоторых разностях вкрапленников и субфенокристаллов Opx , $Amph$, Mgt и Ilm . Крайне редко в трахитах отмечается Ol . Редкопорфировая структура комендитового трахита в единичной находке обусловлена наличием вкрапленников и субфенокристаллов $Pl+Fsp+Kfs+Bt$. Комендиты вулканов обычно представлены стекловатыми или субафировыми разностями с незначительным количеством вкрапленников $Kfs+Bt$ и еще более редкими выделениями Mgt .

Редкоэлементный состав минералов-вкрапленников был изучен методом LA-ICP-MS. Как показано на примере распределения редкоземельных элементов в минералах трахитов, полевые шпаты трахитов имеют умеренные концентрации REE с высокой степенью их фракционирования и ярко выраженными максимумами нормированных концентраций Eu . Близки к ним по содержаниям REE биотиты, для которых Eu аномалия не характерна. Пироксены трахитов отчетливо обогащены как легкими, так и тяжелыми элементами

редкоземельной группы в сравнении с полевыми шпатами. Для графиков распределения REE в пироксенах характерен отчетливый Eu минимум. Наиболее высокими концентрациями лантаноидов обладают апатиты. Уровни концентраций в них REE на 1-2 порядка выше, чем в других исследованных минералах.

Методами баланса масс и микроэлементного моделирования показано, что формирование трахиандезит-трахит-комендитового ряда пород в составе ЩБТК серии определяется протеканием процессов кристаллизационной дифференциации или «фильтр-прессинга» в малоглубинных магматических камерах с участием минерального парагенезиса Pl-Kfs-Cpx-Orx-Amph-Bt-Mgt-Ilm-Ap и преобладающей ролью полевошпатового компонента.

Направленное снижение объема кристаллического компонента в указанном ряду пород предполагает протекание процессов кристаллизационной дифференциации. Проверка этого предположения выполнена методом баланса масс с применением в расчетах модальных составов минералов-вкрапленников, составов фельзитовой и гиалопилитовой основной массы и составов пород. Результаты расчетов показывают удовлетворительное решение при установлении вещественно-минеральных связей между различными типами трахитов вулкана Белоголовский, в данном случае между обильно порфиоровыми Pl+Fsp+Cpx+Bt трахитами, отличающимися заметно более высокими концентрациями Ba (Н-Ва трахиты), и плагиопорфиоровыми Pl+Fsp+Cpx+Orx+Bt трахитами с умеренными концентрациями Ba (М-Ва трахиты). По результатам проведенного микроэлементного моделирования с использованием данных о распределении редких элементов в минералах из пород серии, была получена схема дифференциации пород массива Белоголовский. Следует предполагать существование двух линий дифференциации магм: 1. трахиандезит-базальт-трахиандезит-трахит-комендитовой, и 2. трахиандезит-базальт-трахиандезит-трахитовой.

РАЗДЕЛ 4. Изучение возрастных взаимоотношений и геохимии редкометалльных пегматитов различной специализации (Li, Li-Cs-Ta) Центрального Сангиленского пояса (Тыва) (к.г.-м.н. Кузнецова Л.Г.).

Сольбельдерское поле редкометалльных пегматитов, вытянутое более, чем на 20 км. вдоль субмеридиональной зоны разломов принадлежит к Центрально-Сангиленскому пегматитовому поясу (ЦСП). Установлено, что пегматиты этого поля отличаются от пегматитов более протяженного Южно-Сангиленского пояса гораздо более разнообразной минерализацией и относятся как к чисто литиевому, так и к комплексному литий-цезий-танталовому геохимическим типам. Выявлено, что редкометалльная специализация пегматитов меняется с

юго-востока на северо-запад от Li к комплексной Li-Cs-Ta, что связано с эволюцией очага редкометалльных расплавов.

В результате изучения флюидных включений в минералах сподуменовых пегматитов установлено, что они кристаллизовались из расплавов, недосыщенных в отношении B, F, H₂O, в присутствии C-O-H-N флюидов. При формировании пегматитов Сольбельдерского поля повышенное флюидное давление (до 5.8 кбар при T = 600 °C) усиливало активность CO₂, преобладавшей в газовой смеси, способствуя явлениям контаминации и более интенсивной кристаллизационной дифференциации пегматитовых расплавов. Это обусловило зональное внутреннее строение и более разнообразный минеральный состав пегматитовых жил Сольбельдерского поля.

Изучение геологических взаимоотношений и вещественного состава магматических пород Сольбельдерского пегматитового поля с целью установить генетические связи редкометалльных пегматитов показало, что в районе выделяются: 1) полихронные Быстринско-Каргинский и Дахунурский плутоны, сложенные ранними плагиогранитоидами и более поздними натро-калиевыми слюдяными гранитами и лейкогранитами, 2) два небольших массива щелочных пород (малиньитов, миаскитов, мариуполитов), 3) малые тела щелочных габбро, сиенитов и пегматоидных лейкогранитов, а также сподуменосодержащие пегматитовые жилы и дайки.

Изотопное датирование U-Pb методом по цирконам (SHRIMP-II) в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) позволило установить следующую последовательность их формирования (млн лет): гнейсовидные биотитовые плагиограниты главной фазы Быстринско-Каргинского массива – 492, биотитовые K-Na лейкограниты фазы дополнительных интрузий – 470, щелочные сиениты (мариуполиты) небольшого массива в левом борту р. Сольбельдер – 378, сподуменовые пегматиты проявлений Кара-Адыр и Шук-Бюль 292 и 272, соответственно, щелочные габброиды (малиньиты) Караадырского массива – 182. Таким образом, редкометалльные пегматиты Сольбельдерского поля оказались значительно моложе гранитов Быстринско-Каргинского массива (492-470 млн лет), а также K-Na биотитовых гранитов кыстарысского комплекса (489 млн лет) и сподуменовых пегматитов Южно-Сангиленского пегматитового пояса (490-483 млн лет), с которыми они всегда считались đồngовозрастными и генетически едиными.

Новые данные о различном возрасте редкометалльных пегматитов Южно-Сангиленского и Центрально-Сангиленского пегматитовых поясов (ранне- и позднепалеозойском, соответственно) свидетельствуют о минимум двукратном проявлении импульсов редкометалльного гранитного магматизма на Сангиле и существенно расширяют его временные рамки. При этом возникают вопросы об источниках рудного вещества и связи

пегматитов с гранитами, поскольку если раннепалеозойский импульс (490-480 млн лет) совпал с мощным проявлением гранитного магматизма на Сангилене, то позднепалеозойский импульс (290-270 млн лет) приходится на период, для которого гранитный магматизм здесь не характерен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

Выполнено петролого-геохимическое и изотопно-геохронологическое изучение архейских и палеопротерозойских ТТГА, архейских и палеопротерозойских метаморфических пород Присяянского выступа Сибирского кратона (шарыжалгайского и китойского гранулитового комплексов; гранито-гнейсов ТТГА ОЗП и ТЗП и метаморфических пород поясов), фундамента ТТМ (гранито-гнейсов) Гарганской глыбы. Установлено, что во всех структурно-вещественных комплексах протолиты ТТГА имеют близкие петрогеохимические характеристики, что указывает на вероятность существования единого палео-мезоархейского палеоконтинента, более древнего чем Кероланд.

Петролого-геохимическими методами в полиметаморфических гранулитовых и зеленокаменных структурах Присяянского выступа исследованы протолиты, которые являются субстратом для мезо-и неоархейских ультраметаморфических гранитоидов китойского комплекса. Последние развивались по: палеоархейским ТТГА; палео- и мезоархейским основным метамагматическим породам; метаосадочным породам, карбонатным. Проведена типизация и анализ вещественных характеристик мезо-, неоархейских ультраметаморфических и анатектических гранитоидов китойского комплекса.

Изучены протолиты палеопротерозойских ультраметаморфических гранитоидов шарыжалгайского комплекса, интрузивных посткинematических гранитов шумихинского, приморского и саянского комплексов. Источником магм этих гранитоидов были ультраметаморфические гранитоиды генерированные в шарыжалгайском комплексе, перемещенные в верхние структурные этажи.

Получены первые данные по породам Кукшери-Ийского прогиба, выявлена последовательность петрогенезиса. Установлена близость их вещественных характеристик метаморфитам, магматитам и метасоматитам слюдянского и ольхонского комплексов ЦАСП. Это отражает как единые особенности литогенеза и вулканизма Палеоазиатского океана, так и однотипные наложенные преобразования протолитов в процессах метаморфизма и метасоматоза. При выполнении проекта в прогибе обнаружены святоноситы, редкие для региона породы с баритом, цельзианом, винчитом.

В Ольхонском регионе магматизм очень разнообразен, но подчиняется определенной зональности, обусловленной тектоническим развитием данного участка коры и связанным с ним зональным метаморфизмом. Коллаж пластин, слагающих его, неоднороден и испытывает сдвиг-взбросовые движения. Главная сдвиговая зона делит его на северное крыло, испытывающее опускание при повышенных давлениях, тогда как южное крыло воздымается и характеризуется более низкими давлениями и температурами. В результате в северном крыле возникают условия гранулитовой фации со слабым проявлением эндербитов и чарнокитов и будинированными реликтами реститовых перидотитов. Южнее главной сдвиговой зоны на породы наложены два этапа амфиболитовой фации, что приводит к широкому развитию мигматизации с последующим анатексисом в пластинах, сложенных метаграувакками – продуктами разрушения промежуточных островных дуг по модели Индонезийско-Филиппинского моря. В результате формируется синсдвиговый (по А.Г.Владимирову) шаранурский гранитоидный комплекс с купольными зонами и участками гранитов – по геохимии типичные синколлизийные S-граниты. Он сопровождается серией перемещенных жил пегматоидных гранитов, а на завершающем этапе при возрастающей проницаемости толщ появляется серия интрузивных однородных среднезернистых биотитовых гранитных жил и небольших массивов, близких по геохимии и возрасту шаранурским гранитам. Но жилы используют уже поперечные к главным простираниям сдвигов трещины, что говорит о постепенной смене направления тектонических напряжений.

Одновременно с массовыми выплавками шаранурских гранитов по сдвиговым нарушениям вдоль юго-восточной части региона «выдавливаются» пластообразные тела низкощелочных габбро. В результате взаимодействия таких контрастных расплавов появляются приповерхностные минглинг-дайки, а при смешении на большей глубине – порции расплавов щелочных сиенитов и субщелочные поздние фазы габброидов, либо зоны нефелинизации у их контактов. Подтверждением такой модели процесса является

В отличие от коллизийного магматизма, породившего гранито-гнейсовые купола в Прибайкалье, петрогенезис внутриплитных гранитоидов не зависит от состава и возраста вмещающих пород. Разнообразие геохимических типов этих гранитоидов, связанных как с коровыми, так и с мантийными источниками, а также с процессами мантийно-корового взаимодействия, может быть обусловлено влиянием плюма на геологическую историю внутриплитного магматизма. Широкий спектр состава и геохимических особенностей пород в пределах позднепалеозойского и раннемезозойского ареалов магматизма Прибайкалья и Монголии от щелочных, субщелочных до редкометалльных гранитоидов определяет перспективность в отношении генетической связи с ними разнообразных типов оруденения.

Детально описаны минералогические и фазовые особенности образцов трахибазальта,

муджиерита, трахидацита и комендитов вулкана Немрут (Восточная Турция), определены условия образования минералов, анализируются составы стекол расплавных включений в оливинах и матриксе пород. На основе анализа минералого-геохимических особенностей пород и масс-балансовых расчетов предлагаются наиболее вероятные модели образования муджиеритовой и бенморейтовой магм. Изучены минералого-геохимические и фазовые особенности комендитов и пантеллеритов вулкана Немрут (Восточная Турция). Появление остаточных комендитовых и пантеллеритовых расплавов объясняется вариациями условий кристаллизации анортоклаза (преобладающей фазы), геденбергита, фаялита, оксидов Fe и Ti в исходной трахит-комендитовой магме в зависимости от давления и содержания растворенной в расплавах воды.

Для объяснения изотопных данных рассмотрены две генетических модели, «увязывающие» в единую систему образование базитов NEB типа и гранитоидов с адакитовыми характеристиками. Первая модель подразумевает смешение продуктов плавления серогнейсовой толщи с основной магмой, аналогичной по составу щелочным оливиновым базальтам океанических островов (OIB). Вторая модель подразумевает плавление геохимически специализированного источника, расположенного в субконтинентальной мантии. Модель основана на представленьях об образовании базитов NEB и низкокремнистых адакитов (LSA) за счет разной степени плавления единого источника вещества (Martin et al, 2005). Диаграмма на Рисунке 2 иллюстрирует возможность реализации этого механизма образования магм. Однако в отличие от простой модели смешения между продуктами плавления океанической и континентальной литосферы следует подразумевать существование геохимически специализированного домена, необходимого для объяснения изотопных характеристик гранитоидов и базитов NEB.

Методами баланса масс и микроэлементного моделирования показано, что формирование трахинадезит-трахит-комендитового ряда пород в составе ЩБТК серии определяется протеканием процессов кристаллизационной дифференциации или «фильтр-прессинга» в малоглубинных магматических камерах с участием минерального парагенезиса Pl-Kfs-Cpx-Orx-Amph-Bt-Mgt-Ilm-Ap и преобладающей ролью полевошпатового компонента. Направленное снижение объема кристаллического компонента в указанном ряду пород предполагает протекание процессов кристаллизационной дифференциации. Проверка этого предположения выполнена методом баланса масс с применением в расчетах модальных составов минералов-вкрапленников, составов фельзитовой и гиалопилитовой основной массы и составов пород. Результаты расчетов показывают удовлетворительное решение при установлении вещественно-минеральных связей между различными типами трахитов вулкана Белоголовский, в данном случае между обильно порфиоровыми Pl+Fsp+Cpx+Bt трахитами,

отличающимися заметно более высокими концентрациями Ва (Н-Ва трахиты), и плагиопорфировыми Pl+Fsp+Срх+Орх+Vt трахитами с умеренными концентрациями Ва (М-Ва трахиты). По результатам проведенного микроэлементного моделирования с использованием данных о распределении редких элементов в минералах из пород серии, была получена схема дифференциации пород массива Белоголовский на Камчатке. Следует предполагать существование двух линий дифференциации магм: 1. трахиандезибазальт-трахиандезит-трахит-комендитовой, и 2. трахиандезибазальт-трахиандезит-трахитовой.

Установлены геологические условия проявления, исследованы состав и изотопные U-Pb, Sr-Nd характеристики раннепалеозойских габбро-гранитных плутонических ассоциаций субширотного Южно-Сангиленского пегматитового пояса (ЮСП), включающего крупное месторождение лития Тастыг. Их возраст (SHRIMP, U-Pb по цирконам) отвечает интервалу проявления раннепалеозойского коллизионного орогенеза на Западном Сангилене (520-480 млн. лет), осложненного одновременным воздействием Алтае-Саянского мантийного плюма. Установлено, что главными факторами, отразившимися на геохимических особенностях и металлогенической специализации базитов и ассоциированных с ними гранитоидов, в том числе редкометальных пегматитов, явились изменение в ходе коллизионного орогенеза состава мантийных источников и вовлечение в процессы корового плавления все более древнего и радиогенного субстрата. Выявленное в пределах ЮСП закономерное увеличение с запада на восток объема гранитоидов повышенной калиевой щелочности и продуктивности проявлений литиевого редкометального магматизма, наряду с изотопно-геохронологическими данными, говорит о тесной парагенетической связи редкометального магматизма с постколлизионными гранитами повышенной общей и калиевой щелочности кыстарысского комплекса.

Список использованных литературных источников

1. Crawford M.B. and Windley B.F. Leucogranites of the Himalaya/Karacoram: implications for magmatic evolution within collisional belts and the study of collision-related leucogranite petrogenesis // J. Volc. Geotherm. Res. – 1990. – V., № 91. – P. 3573-3589.
2. Bea F., Pereira M.D., Corretge L.G., Fershtater G.B. Differentiation of strongly peraluminous, perphosphorus granites: The Pedrobernardo pluton, central Spain // Geochimica et Cosmochimica Acta. - 1994. - V. 58, № 12. - P. 2609–2627.
3. Bea F. Crystallization dynamics of granite magma chambers in the absence of regional stress: multiphysics modeling with natural examples // Journal of Petrology. – 2010. V. 51, № 7. - P. 1541-1569.
4. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. - 2003. - V. 3. - P. 1-64.

Список публикаций по теме проекта за 2016 г.

Статьи за 2016 г.

1. Шептякова Н.В., Антипин В.С., Куц Л.В. Коллизионные и внутриплитные палеозойские гранитоиды Прибайкалья: сравнительная геохимия и петрогенезис // Геология и геофизика. – 2016. - № 7. - С. 1307-1322.
2. Антипин В.С., Одгэрэл Д. Абдар- Хошутулинская интрузивно-дайковая серия: эволюция и условия образования гранитоидов различных геохимических типов в раннемезозойском ареале магматизма (Центральная Монголия) // Петрология. – 2016. – Т. 24, № 5. - С. 537-553.
3. Antipin V., Gerel O., Perepelov A., Odgerel D., Zolboo T. Late Paleozoic and Early Mesozoic rare-metal granites in Central Mongolia and Baikal region: review of geochemistry, possible magma sources and related mineralization // Journal of Geosciences. - 2016. - V. 61. - P. 105-125.
4. Ефремов С.В., Дриль С.И., Сандмирова Г.П. Образование гранитоидов с адакитовой геохимической характеристикой в коллизионных орогенах на примере раннепалеозойских гранитоидов хребта Ммунку-Сардык (Восточный Саян) // Геохимия. – 2016. - № 7. - С.1-7.
5. Флеров Г.Б., Колосков А.В., Пузанков М.Ю., Перепелов А.Б., Щербаков Ю.Д., Дриль С.И., Палесский С.В. Пространственно-временные соотношения вулканических ассоциаций разной щелочности Белоголовского массива (Срединный хребет Камчатки). Ч. II. Геохимия вулканических пород и источники магм // Вулканология и сейсмология. - 2016. - № 4. - С. 3-26.
6. Макрыгина В.А., Суворова Л.Ф., Зарубина О.В., Брянский Н.В. Геохимия щелочных сиенитов Будунского массива и особенности их петрогенезиса (о. Ольхон) // Доклады Академии наук. – 2016. - Т. 469, № 3. - С. 336-342.
7. Ignat'ev A.V., academician Khanchuk A.I., Vysotskii S.V., Velivetskaya V.A., Levitskii V.I., Terekhov E.N. The first data on mass-independent fractionation of sulfur isotopes in sulfides from rocks of the Eastern Part of the Fennoscandian // Doklady Earth Sciences. – 2016. - V. 469, № 2. - P. 867–869.
8. Zagorsky V.E. The Durulgui rare-metal granite-pegmatite system in the Eastern Transbaikalian region: petrological and geochronological aspects // Doklady Earth Sciences. – 2016. - V. 471, № 1. - P. 1134-1139.
9. Zagorsky V.Ye., Peretyazhko I.S., Dmitrieva A.S. Axinite-(Mn) from miarolitic granitic pegmatites of the Malkhan gem-tourmaline deposit (Transbaikalia, Russia): composition, paragenesis and conditions of formation // European Journal of Mineralogy. – 2016. - V. 28, №. 4. - P. 811-824.

10. Sapozhnikov A.N., Kaneva E.P., Surorova L.P., Levitsky V.I., Ivanova L.A. Sulfhydrylbystrite, $\text{Na}_5\text{K}_2\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{S}_5)(\text{SH})$, a new mineral with the LOS framework, and reinterpretation of bystrite: cancrinite-group minerals with novel extra-framework anions // Mineralogical Magazine. – 2017. – V. 81 (in press).

11. Ефремов С.В., Зорх А.В., Назаров Н.В., Липин М.А. Оценка флангов рудных месторождений с помощью геохимических съемок по первичным и вторичным ореолам. Уровень эрозионного среза и показатель зональности // Известия сибирского отделения секции наук о земле российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. - № 3 (56). С. 20-28.

12. Антипин В.С., Перепелов А.Б., Одгэрэл Д. Геохимия редкометалльных гранитов раннемезозойского ареала магматизма Северной Монголии (Хэнтэй) // Геологий. – 2016. - № 32. - С. 39-46.

13. Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Дриль С.И., Щербаков Ю.Д., Одгэрэл Д., Батульзий Д. Роль эклогитового источника в эволюции позднекайнозойского щелочно-базальтового вулканизма Северной Монголии и Южного Прибайкалья // Геологий. - 2016. - № 32. - С. 47-53.

Тезисы за 2016 г.

1. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Дмитриева А.С. Фторидные фазы в расплавленных включениях из онгонитов массива Ары-Булак (Восточное Забайкалье) // Материалы XVII Всероссийской конференции по термобарогеохимии. Улан-Удэ. - 2016. - С. 114-116

2. Перетяжко И.С., Савина Е.А., Карманов Н.С. Фторидно-кальциевая флюидно-магматическая фаза в трахириолитовом расплаве // Материалы XVII Всероссийской конференции по термобарогеохимии. Улан-Удэ. - 2016. - С. 117-119.

3. Ефремов С.В. Использование геохимических данных для решения задач по поиску и оценке месторождений полезных ископаемых в известных рудных районах. Всероссийская научно-технической конференция с международным участием «Геонауки-2016: актуальные проблемы изучения недр» ИрННТУ, Иркутск, 20-25 апреля, 2016 г.

4. Ефремов С.В. Использование площадных геохимических съемок для расшифровки эволюции рудно-магматических систем // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». 2016. Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14.

5. Цыпукова С.С., Перепелов А.Б., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Дриль С.И., Щербаков Ю.Д., Одгэрэл Д., Батульзий Д. Эклогитовый след в эволюции позднекайнозойского щелочно-базальтового вулканизма Юго-Западного фланга Байкальской рифтовой зоны –

геохимические признаки и геодинамические следствия // Материалы Третьей Всероссийской конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». Владивосток: Дальнаука. - 2016. - С. 250-252.

6. Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Дриль С.И., Щербаков Ю.Д., Одгэрэл Д., Батульзий Д. Эклогитовый след в эволюции позднекайнозойского щелочно-базальтового вулканизма Центральной Азии – геохимические признаки и геодинамические следствия // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 222-224.

7. Щербаков Ю.Д., Перепелов А.Б., Дриль С.И. Гетерогенность источника умеренно-щелочных магм Срединного хребта Камчатки // Материалы Третьей Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». - 2016. - С. 265-268.

8. Перепелов А.Б., Щербаков Ю.Д., Чашин А.А., Пузанков М.Ю., Карманов Н.С., Цыпукова С.С. Магнезиальные андезиты Камчатки – геохимические типы и условия происхождения // Материалы Третьей Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». - 2016. - С. 200-204.

9. Пузанков М.Ю., Базанова Л.И., Дирксен О.В., Перепелов А.Б., Москалева С.В., Карташева Е.В. Гибридные лавы конуса Приемыш (Жупановская группа вулканов, Камчатка) // Материалы Научной конференции, посвящённой дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». ИВиС ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский. - 2016. - С. 139-145.

10. Антипин В.С., Перепелов А.Б., Одгэрэл Д. Редкометалльные граниты в центральной части (Бага-Хэнтэйский батолит) и периферии ранне-мезозойского ареала магматизма: сравнительная геохимия, петрогенезис // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 17-19.

11. Antipin V., Sheptyakova N. Granitoids of different geodynamic settings of Baikal region (Russia) their geochemical evolution and origin // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly 2016. – 2016. - V. 18. EGU2016-2090-2.

12. Шептякова Н.В., Антипин В.С. Геохимическая эволюция и генезис коллизионных и внутриплитных палеозойских гранитоидов Прибайкалья // Материалы третьей международной научной конференции «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения». Изд-во СО РАН, Новосибирск. – 2016. - С. 217-218.

13. Левицкий В.И., Сапожников А.Н., Суворова Л.Ф. Галит, сильвин, барит – индикаторы источников вещества лазуритовых месторождений Прибайкалья. // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 152-155.

14. Левицкий В.И., Резницкий Л.З., Левицкий И.В. Петрогеохимические особенности карбонатных пород докембрия и фанерозоя // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 178-180.

15. Высоцкий С.В., Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А., Левицкий В.И., Левицкий И.В., Мехоношин А.С, Масс-независимое фракционирование изотопов серы как инструмент решения некоторых проблем петрогенезиса рудных месторождений докембрия (на примере Присаянского (Шарыжалгайского) краевого выступа Сибирского кратона) // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 43-45

16. Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Рудько С.В., Левицкий В.И. Изотопный состав стронция в докембрийских карбонатных породах юго-востока Сибирской платформы: возраст и особенности формирования // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 147-148.

17. Федоров А.М., Макрыгина В.А., Непомнящих А.И., Посохов В.Ф. Синтаксис и глубинные структуры выжимания в коллизионной системе западного Прибайкалья // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 280-282.

18. Кузнецова Л.Г., Дриль С.И., Шокальский С.П. Геохимические особенности раннепалеозойских гранитов и богатых литием редкометалльных пегматитов Хусуингольского поля (Сангиленское нагорье) и геодинамические условия их формирования // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 161-163.

19. Кузнецова Л.Г. Особенности состава раннепалеозойских габброидов в зоне Качикского регионального разлома (Южный Сангилен, Республика Тыва) // Материалы научного совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского

подвижного пояса (от океана к континенту)». Иркутск, из-во Ин-та географии СО РАН. - 2016. - Вып. 14. - С. 159-160.

20. Кузнецова Л.Г., Дриль С.И., Ефремов С.В. Sr-Nd изотопные характеристики источников раннепалеозойских габбро-гранитных плутонических ассоциаций Южно-Сангиленского пояса редкометалльных пегматитов // Тезисы докладов XXI Симпозиума по геохимии изотопов им. Академика А.П. Виноградова. Москва. – 2016. - С. 105-108.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2013-2016 г. г. в соответствии с государственным заданием

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	43	4	16	11	11
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	34	3	12	8	11
Число тезисов в конференциях	единиц	82	20	15	30	26
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России зарегистрированных патентов за рубежом	единиц					